

基于 CBR 的叶片智能化 CAPP 系统研究

侍磊¹,周麟坤¹,陈月芳²,丁玉²,刘会霞¹,王霄¹

¹江苏大学机械工程学院;²常州市金坛腾远机械配件有限公司

摘要:为解决汽轮机叶片生产工艺编制周期长等问题,开发了一款基于实例推理(CBR)的叶片智能化 CAPP 系统。提出了叶片阶梯式分层信息描述方法和叶片分级属性检索策略,分析和总结了叶片结构和工艺特点,建立了基于特征数据类型的相似度算法分类函数,并由该系统检索出符合叶片工艺设计要求的最佳实例。经测试,该系统能够实现叶片工艺的快速设计,缩短工艺文件的准备周期。

关键词:汽轮机叶片;实例推理;相似度算法;工艺设计

中图分类号: TG501;TH162

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.07.014

Research on Intelligent CAPP System for Blade Based on CBR

Shi Lei, Zhou Linkun, Chen Yuefang, Ding Yu, Liu Huixia, Wang Xiao

Abstract: In order to solve the problem of long process preparation cycle of turbine blades, an intelligent CAPP system of blades is developed through case-based reasoning. The hierarchical information description method and the classified attribute retrieval strategy are proposed, and the characteristics of the blade structure and the machining process are analyzed and summarized. Then the classification function of similarity algorithm based on the characteristic data type is established, and the best examples that meet the requirements of blade process planning are retrieved by the system. Through testing, it is found that the system can quickly make the blade process planning, therefore shortening the preparation period of process documents.

Keywords: turbine blade; case-based reasoning; similarity algorithm; process planning

1 引言

基于实例推理的 CAPP 系统从过去成功的例子中吸取成功的经验和知识并将其运用在新方案中。现阶段,实例推理技术的研究有一定的深入和发展,并且已经应用在不同领域。东南大学的文尧奇等^[1]将实例推理引入到纺纱工艺设计中,提出一套基于 CBR 的智能化工艺系统。上海交通大学的文建锋等^[2]从数据结构、推理流程、应用要求等方面全面论证了 CBR 与 RBR 的集成推理机制,开发出薄壁圆筒件挤压工艺智能设计系统,极大地提高了知识重用程度。南京航空航天大学的卢文轩^[3]根据规则推理和基于实例的设计技术,提出一种基于规则推理和多层实例库的组合夹具设计系统。

中小型汽轮机叶片企业所生产的叶片具有批量小、精度高、种类多、级别多和交货期短等特点。在工艺设计过程中,还存在工作内容重复性高、效率低以及叶片工艺文件准备周期过长等问题,对推进叶片生产项目造成严重阻碍。在叶片工艺设计过程中采用实例推理技术,将会极大地帮助工艺员进行叶片的工艺设计。因此,本文根据汽轮机叶片工艺设

计的内容和特点,以实例推理为基础,应用 UG 二次开发和数据库开发技术,研究开发了基于实例推理的汽轮机叶片智能化 CAPP 系统。

2 叶片智能化 CAPP 系统总体框架

基于实例推理的叶片智能化 CAPP 系统的推理流程如下:首先输入新叶片的工艺问题,并按照一定规则对实例库进行检索,以获取实例并进行适应性修正,最终得到新叶片工艺方案的最优解,并输出可以用于指导实际生产的工艺文件。系统推理流程见图 1。

系统在叶片工艺设计过程中,既要符合应用中的实际需求,又要提高系统对叶片信息获取和传输的准确性。系统划分为以下六个模块:

①用户界面模块。主要分为叶片项目新建界面、初次交互检索界面、实例推理交互界面、实例相似度匹配界面、叶片综合信息界面、叶片工艺修正界面、2D 工程图导出界面以及 QC 工程图导出界面;

②实例检索模块。应用数据库技术,通过“初次检索—实例推理”分级属性检索策略对实例库中实例信息进行处理;

③实例匹配模块。显示叶片实例的所有信息,

对相似度进行冒泡法排序,获取与新叶片匹配度最高的实例,并将实例信息提取到新叶片生产项目中;

④实例修正模块。通过修改叶片基本信息、技术要求和工艺参数,对工艺规程中各工序卡进行自动修正;

⑤工艺文件输出模块。将修正后的工艺文件查询输出为 PDF 文件并发放到生产部,以推进新叶片生产项目。输出 QC 工程图,并发放项目部监管现场生产进度和质量检验;

⑥实例保存模块。将需要存储到实例库的新叶片实例保存到实例库中,实现新叶片的信息完整存入,以扩大实例库的实例储备。

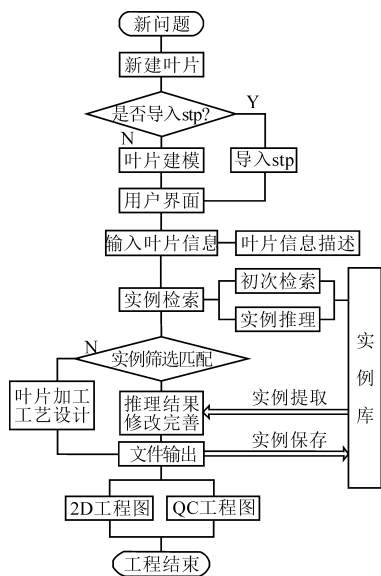


图 1 系统推理流程

3 基于 CBR 的叶片智能化 CAPP 系统关键技术

3.1 叶片工艺信息描述方法

叶片工艺信息描述指对工艺设计所需的特征数据及工艺设计所产生的特征数据进行描述。依据数据结构的相似性,将复杂多变的结构和工艺信息分为多个层次进行描述,通过工艺信息的高效处理取得分层管理的良好效果^[4]。叶片作为汽轮机核心部件,其加工工艺比较复杂,工艺路线一般包括来料检查、铣四方、中心孔总长、刻写标识、综合粗铣、综合精铣、精铣总长、精铣径向、汽道抛光、汇总检验和磁粉探伤等。因不同客户需求的叶片类型不同,对叶片工艺要求有显著差异,因此描述叶片工艺信息首先要根据叶片的客户源进行区分。其次,叶片外观形状是叶片工艺设计的基础,叶片外观结构的差别会导致技术路线明显不同。在叶片工艺设计过程

中,根据毛坯形式、加工方式和叶根成型方式确定叶片工艺方案是叶片工艺设计的关键环节。此外,径向类型、结构形式、拉金形状、材料特征、表面强化和加厚类型等其它特征信息也对叶片加工工艺设计有不同程度的影响。

综合上述影响叶片工艺设计的特征属性,采用阶梯式分层信息描述方法,将叶片工艺信息划分为客户源、预选检索特征和深度检索特征进行分层描述。叶片工艺信息阶梯式分层描述模型见图 2。

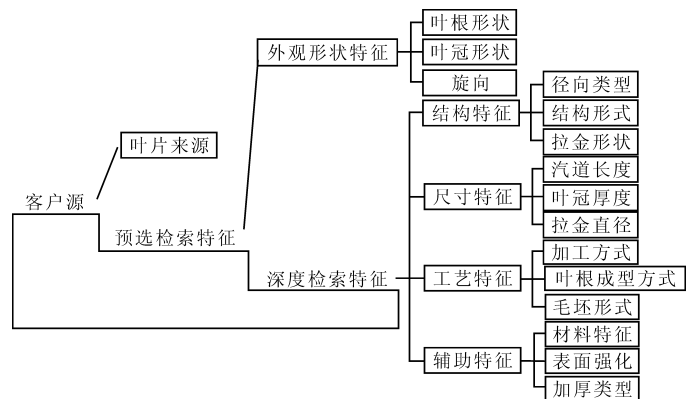


图 2 叶片工艺信息阶梯式分层描述模型

3.2 叶片工艺实例检索策略

实例检索需根据工艺设计要求从实例库中找出与新叶片较相似的实例。对于层次多、类别多、设计属性多的产品,通常采用分类存储、分类检索的层次检索策略^[5]。根据叶片工艺信息描述方法,系统采用“初次检索-实例推理”的叶片分级属性检索策略,以缩小实例推理的检索范围,提高实例检索的精度和效率。将客户源作为叶片第一级属性,预选检索特征作为叶片第二级属性,将深度检索特征作为叶片第三级属性。叶片第一级和第二级属性是规划叶片工艺的必要条件,系统将第一、二级属性与新叶片完全相同的叶片实例从实例库中查询出来作为检索集。系统通过比较检索集中实例叶片的第三级属性特征,计算相似度并结合阈值筛选检索集,得到解决新叶片工艺问题的最佳实例。叶片分级属性检索求解模型见图 3。

3.3 叶片特征相似度算法

检索相似度算法是系统检索出最佳实例的核心。相对成熟的检索算法主要包括最近邻算法和归纳推理算法^[6],本文采用最近邻算法。全局相似度计算模型为

$$\text{Similarity} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Sim}(P_i, M_i)}{\sum_{i=0}^n W_i} w_i \quad (1)$$

式中, P_i 为新叶片的特征属性数据; M_i 为实例叶片的特征属性数据; $\text{Sim}(P_i, M_i)$ 为在第 i 项特征上新叶片和实例叶片的局部相似度; n 为系统局部相似度的数量; w_i 为第 i 项特征在叶片特征属性的权重, 且 $\sum w_i = 1$ 。

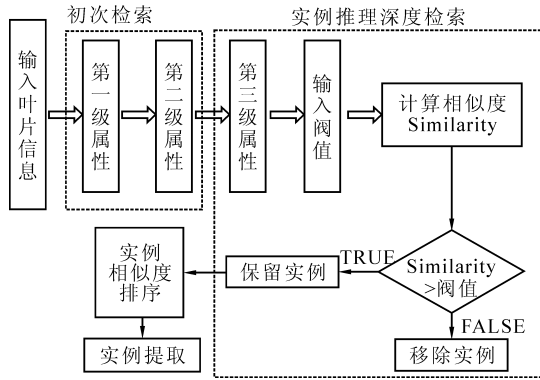


图3 叶片分级属性检索求解模型

叶片第三级属性的数据类型可分为语义型和数值型。结合叶片工艺设计的实际经验, 进一步将第三级属性的数据类型分为关联语义型、无关语义型、区间数值型和复杂数值型。

(1) 关联语义型

关联语义型特征属性与其它特征属性之间存在内在关联。毛坯形式、加工方式和叶根成型方式在工艺规划过程中相互关联。按照影响程度, 将加工方式设为第一层, 叶根成型方式设为第二层, 毛坯形式设为第三层。叶片关联语义型特征项的局部相似度计算规则为

$$\text{Sim}(P, M) = \begin{cases} 1 & (\text{三层相同}) \\ 0.8 & (\text{只前两层相同}) \\ 0.6 & (\text{只第一层相同}) \\ 0.2 & (\text{三层均不同}) \end{cases} \quad (2)$$

(2) 无关语义型

属于无关语义型的特征属性取值与其他特征属性没有任何关联^[7]。径向类型、结构形式、拉金形状、材料特征、表面强化和加厚类型六项特征可以采用无关语义型相似度计算规则。无关语义型局部相似度计算规则为

$$\text{Sim}(P_i, M_i) = \begin{cases} 1 & P_i = M_i \\ 0 & P_i \neq M_i \end{cases} \quad (3)$$

(3) 区间数值型

根据影响叶片生产工艺规划过程的程度, 将叶冠厚度和拉金直径归类为区间数值型^[8]。通过划分尺寸区间, 叶冠厚度和拉金直径的局部相似度分别见表1和表2。

表1 叶冠厚度局部相似度

P	M		
	0	0-10	10-
0	1	0	0
0-10	0	1	0.75
10-	0	0.75	1

表2 拉金直径局部相似度

P	M		
	0	0-10	10-
0	1	0.6	0.6
0-5	0.2	1	0.75
5-	0.2	0.75	1

(4) 复杂数值型

叶片的汽道长度对实际生产和工艺规划影响程度较大。将汽道长度划分为 10 ~ 50、50 ~ 100、100 ~ 300、300 ~ 600 四组。叶片汽道长度局部相似度计算模型见图4, 计算公式为

$$\text{Sim}(A, A_0) = \begin{cases} \frac{1 - \cos\left(\frac{A_{\min}}{A_0}\pi\right)}{2A_{\min}^2} A^2 & A \leq A_{\min} \\ \left[1 - \cos\left(\frac{A}{A_0}\pi\right)\right] \times \frac{1}{2} & A_{\min} \leq A \leq A_{\max} \\ \left[1 - \cos\left(\frac{A_{\max}}{A_0}\pi\right)\right] \times \frac{e^{(A_{\max} - A)}}{2} & A > A_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

式中, A 为新实例汽道长度; A_0 为目标实例汽道长度; A_{\min} 和 A_{\max} 分别为 A_0 所在区间的最小值和最大值。

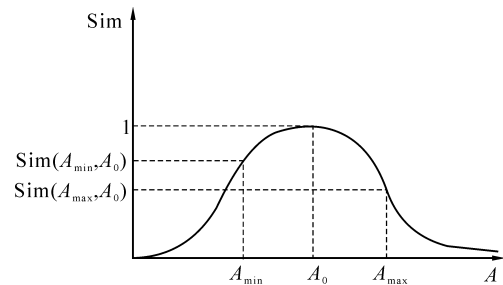


图4 汽道长度相似度计算模型

3.4 叶片特征属性权重分配

特征属性的权重确定方法主要分为主观赋权法和客观赋权法两大类。前者由决策者在相关领域的知识经验基础上通过层次分析法、直接赋值法等判断给出; 后者依据数学原理如成分分析法、多目标规划法等计算得出, 虽具有客观性, 但有时会出现与特征实际重要程度相悖的结果^[9]。层次分析法相比其他方法具有系统性、实用性、简洁性等特点^[10]。

本文采用层次分析法(AHP)来确定特征权重的分配方案。首先制定叶片特征属性重要程度等级

表,然后根据企业在叶片工艺设计中积累的知识经验,按照“1至9比率标度法”对叶片各特征属性两两比较来构造特征属性重要程度矩阵 $Q = [u_{ij}]_{n \times n}$,其中, n 为实例的特征属性数量; u_{ij} 为第 i 个特征属性和第 j 个特征属性的重要程度标度值,且 $u_{ij} = 1/u_{ji}^{[11]}$ 。最后,对矩阵每一列进行归一化处理,再将每一行数值相加组成向量 $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$,并对向量 P 进行归一化处理得到权重特征向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$,其中, w_i 为叶片第 i 个特征属性的权重。具体计算方法为

$$p_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{u_{ij}}{\sum_{k=1}^n u_{kj}} \right) \quad (5)$$

$$w_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (6)$$

4 基于 CBR 的叶片智能化 CAPP 系统开发与测试

4.1 系统模块开发

以 UG10.0 和 Microsoft Visual Studio 2015 为系统开发软件平台、C++ 为系统开发程序语言,应用 NX/Open API,结合 VC 的 MFC 界面添加叶片智能化 CAPP 系统工具条,对系统六个功能模块进行开发。系统以 Access 为数据库平台,建立关系型数据库。收集企业具有典型代表性的叶片,将叶片生产项目中的工程信息以实例形式存储到实例数据库表中。数据库表包括叶片基本信息资料库、叶片工艺信息库、叶片 NC 程序库和叶片加工资源库。通过 SQL 查询语句,建立用于分级属性检索的实例推理和信息汇总查询库表。通过 ADO(ActiveX Data Objects)数据库访问接口,将各数据库表连接到系统中,以实现系统各模块对实例库的访问。

4.2 系统测试

以一种菱形 T 形叶根和平叶冠的反向动叶片工艺设计为例,按系统的推理流程运行系统。叶片智能化 CAPP 系统工具条见图 5。启动新建叶片项目后,在初次交互检索对话框和实例推理交互检索对话框中输入叶片的描述信息和相似度阈值,得到多个与该叶片相似的实例叶片。用户通过对比实例叶片和新叶片的所有基本信息,选出最符合新叶片工艺设计方案的实例并进行修正改善。叶片实例修正对话框见图 6。以该叶片精铣总长工序为例,在对话框中输入叶片的基本信息和工艺参数,输出规范化和标准化工艺文件。精铣总长工序卡修正结果

见图 7, QC 工程图设计效果见图 8。



图 5 叶片智能化 CAPP 系统工具条

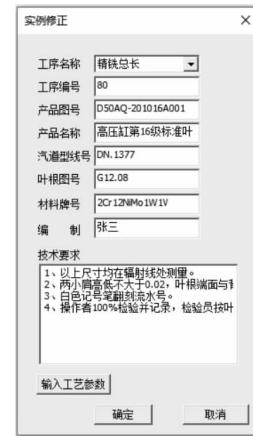


图 6 叶片实例修正对话框

工序名称	精铣总长	产品图号	D50AQ-201016A001	叶根图号	G12.08	材料牌号	2Cr12NiMo11V	实例	非实例
工序编号	80	产品名称	高压缸第16级标准叶	汽轮机型号	DN.1377	叶根号			
加工资源								工 艺 量 备 夹具 卧式工装 刀具 磨床、铣刀 量具 0-300mm数显高度尺 0-200mm游标卡尺 0-125mm方口通尺 填写检验记录卡: 1、数量:100%	
技术要求		1、以上尺寸均在辐射线处测量。 2、两小圆直径不大于0.02,叶根端面与叶根中心垂直度不大于0.03。 3、白色记号笔标注到流水号。 4、操作者100%检验并记录,检验员按叶							
编制	张三	校对		审核		更改			

图 7 精铣总长工序卡修正结果

工程名称	工程名称	类别	标准需求	实际需求	设备	刀具	夹具	检验	检验标准	检验频率	开发流程
1	材料检查	机械	检查毛坯重量,材料及尺寸	---	---	---	---	游标卡尺	工艺规程	100%	精加工
2	铣削内孔	机械	2x20.0, 2x20.0	---	三轴	铣刀	立式工装	游标卡尺	工艺规程	100%	生产部
3	中心孔/倒角	机械	倒角R1.0, 中心孔深不大于1.5mm	---	三轴	R4中心钻	立式工装	游标卡尺	工艺规程	100%	生产部
4	铣端面	机械	12x, 17.0, 0.05, 24.9, 2.0	---	立式加工中心	---	立式工装	游标卡尺	工艺规程	100%	生产部
5	精铣齿根	机械	100%以内叶片增加厚度, 叶冠、齿根内圆磨削, 齿根内圆倒角, 磨床加工叶片外圆, 叶片外圆倒角, 叶片外圆倒角, 叶片外圆倒角	---	立式加工中心	铣刀 (E1-100306L)	双头双刃铣	游标卡尺	工艺规程	100%	生产部
6	精铣齿根	机械	叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削	---	立式加工中心	铣刀 (E1-100306L)	双头双刃铣	游标卡尺, 量具, 量规	工艺规程	100%	生产部
7	精铣总长	机械	两小圆直径不大于0.02, 叶根端面与叶根中心垂直度不大于0.03, 15.0, 0.05, 30.4, 0.17	---	卧铣床	磨床, 磨刀	卧式工装	游标卡尺, 量具, 量规	工艺规程	100%	生产部
8	精铣齿冠	机械	叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削	---	卧铣床	磨床, 磨刀	卧式工装	游标卡尺	工艺规程	100%	生产部
9	汽轮机壳	机械	叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削	---	卧铣床	磨床, 磨刀	---	工艺规程	100%	检验部	
10	刻印标记	机械	叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削	---	立式铣床	磨光砂轮	---	---	---	---	检验部
11	汇总检验	机械	叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削, 叶片外圆磨削	---	检验员	---	---	---	工艺规程	100%	检验部
12	编制程序	机械	---	---	编制程序员	---	---	光碟	---	100%	检验部

图 8 QC 工程图设计效果

5 结语

本文结合叶片的结构和工艺特点,提出了叶片信息描述方法和分级属性检索策略,确立了基于层次分析法的特征属性权重分配方法和基于特征数据

直缝埋弧焊管铣边加工工艺及参数推荐

唐海权,蔡远明,张毅,李孔军,应显军,蒋金龙

成都工具研究所有限公司

摘要: 根据成型工艺不同,直缝埋弧焊管可以分为 UOE 和 JCOE 两种类型,其铣边加工工艺包括复合式和分离式。本文基于切削参数理论,分别为 UOE、JCOE 生产线推荐了合适的铣边加工工艺和参数。

关键词: 直缝埋弧焊管;铣边加工工艺;切削参数

中图分类号: TG54;TG501.2

文献标志码: B

DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2020.07.015

Recommended Milling Process and Parameter for LSAW Pipe

Tang Haiquan, Cai Yuanming, Zhang Yi, Li Kongjun, Ying Xianjun, Jiang Jinlong

Abstract: According to the different forming process, LSAW pipes can be divided into UOE and JCOE. Two kinds of edge milling processes for the pipes are compound milling process and separate milling process. Based on the theory of cutting parameters, the suitable milling processes and parameters are recommended for UOE and JCOE production lines respectively.

Keywords: longitudinal submerged arc welded pipe; edge milling process; cutting parameter

1 引言

直缝埋弧焊管是先进的制管技术产品,因其质量可靠而广泛应用于油气高压输送主干线穿越的二、三、四类地区。为了满足我国西气东输工程建设的需要,X70 钢级大直径直缝埋弧焊管国产化被列

为“十五”期间重大技术设备攻关专题项目。经过多年的发展,目前国内已建成直缝埋弧焊机组共计 25 套左右,产能达到 600 万吨左右,产量与产品质量已达世界一流水平,在满足国内市场需求的情况下,部分企业实现了对外出口。

生产原料为板材的直缝埋弧焊管生产线,可分为焊管作业线和精整作业线两大部分。焊管作业线主要完成钢板准备、钢板预处理、钢管成型、预焊、精

收稿日期:2020年4月

类型的相似度算法分类函数。将实例推理技术引入汽轮机叶片的工艺设计,通过建立叶片实例库及查询库,开发了一款基于实例推理的叶片智能化 CAPP 系统。经过测试和验证,该系统在叶片工艺设计中可靠有效,切实提高了工艺员的工作效率。

参考文献

- [1] 文尧奇,费树岷,王雯. 基于实例推理的纺纱工艺智能设计[J]. 控制工程,2006,13(4):341-343.
- [2] 文建锋,黄少东,刘川林,等. 基于 CBR/RBR 集成推理的薄壁圆筒件挤压工艺智能设计系统的研究[J]. 模具技术,2008(2):28-31.
- [3] 卢文轩. 基于规则推理和多层实例库的组合夹具设计系统开发[D]. 南京:南京航空航天大学,2017.
- [4] 赵东平,王刚锋,侯伟. 面向三维 AO 定制发布的工艺信息分层描述方法[J]. 现代制造工程,2010(4):75-79.
- [5] 王体春,卜良峰,王威. 基于知识重用的产品方案设计多级实例推理模型[J]. 计算机集成制造系统,2011,17(3):571-576.

- [6] 王海巧,孙蓓蓓. 基于实例推理的数控刀架快速设计方法[J]. 东南大学学报,2013,43(6):1232-1237.
- [7] 邓朝晖,张晓红,曹德芳,等. 粗糙集-基于实例推理的凸轮轴数控磨削工艺专家系统[J]. 机械工程学报,2010,46(21):178-186.
- [8] 龙红能,尹国富,戈鹏,等. 汽轮机叶片部件特征模型与相似度算法研究[J]. 计算机集成制造系统,2003,9(9):730-734.
- [9] 包志炎,肖刚,高飞,等. 基于实例推理的个性化产品评价方法[J]. 农业机械学报,2011,42(9):197-200.
- [10] 赵秀艳,宋正河,张开兴,等. 基于多属性决策的农机专业底盘实例推理方法[J]. 农业机械学报,2017,48(2):370-376.
- [11] 李阳. 基于实例推理的数控滚齿加工工艺数据库的开发与研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2017.
第一作者:侍磊,硕士研究生,江苏大学机械工程学院,212000 江苏省镇江市

First Author: Shi Lei, Postgraduate, School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212000, China